

## ⑫ 公開特許公報(A)

平2-305930

⑮ Int.Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成2年(1990)12月19日

C 21 D 10/00  
B 23 K 31/00A 7518-4K  
6919-4E

審査請求 未請求 請求項の数 6 (全7頁)

⑭ 発明の名称 振動式残留応力除去方法

⑯ 特 願 平1-127543

⑰ 出 願 平1(1989)5月19日

⑱ 発 明 者 千 種 徳 七 兵庫県尼崎市東園田町3丁目62番地

⑲ 出 願 人 株式会社メタレックス 大阪府大阪市北区兎我野町5番12号 梅田グリーンビル  
研究所

⑳ 代 理 人 弁理士 鎌田 文二 外2名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

振動式残留応力除去方法

## 2. 特許請求の範囲

(1) 被処理物の残留応力分布及びレベルを測定し、その測定値に基づき、前記被処理物を回転振動させて残留応力を除去する方法。

(2) 同品質、同重量、同形状の被処理物においては、予め測定された振動加速度レベルに基づき、振動周波数を上昇させるようにしたことを特徴とする請求項1記載の残留応力除去方法。

(3) 回転振動を方向転換するようにしたことを特徴とする請求項1又は2記載の残留応力除去方法。

(4) 回転振動を被処理物の共振点で行うようにしたことを特徴とする請求項1、2又は3記載の残留応力除去方法。

(5) 被処理物の任意複数点における共振点に基づき、回転振動を行うようにしたことを特徴とする請求項4記載の残留応力除去方法。

(6) 請求項2記載の残留応力除去方法において、

共振点変位に加速度レベルを追従させるようにしたことを特徴とする請求項4又は5記載の残留応力除去方法。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は金属等の残留応力の振動除去処理に関する。

(従来技術)

従来より、振動式金属残留応力の除去は金属弾性限下の応力除去の有効手段として、省エネルギー、又側面的経済効果として短時間処理、運搬不要、設備費用の大幅削減、金属材料の変質を伴わない金属残留応力除去方法として注目されてきた。

しかし、日本においては単純振動による繰返し応力による試験での結果のみが報告されているのみである。このために単純振動である電気式バイブレーター、油圧式振動発生器等による場合の実施例が挙げられているに止まる。その結果は焼鈍処理に比較して10%程度の応力除去と記載報告されている。

又、振動処理による残留応力の除去装置として公知のものは、例えば米国、英国で下記の処理装置が知られている。

米国では・STRESS RELIEF ENGINEERING  
CO.1725 MONROVIA AVENUE BLDG. AI COSTA MESA,  
CALIFORNIA 92627, U.S.A

製品名 "FORMURA 62"

英国・VIBRATORY STRESS RELIEVING COMPANY,  
FERNFILL HEATH, WORCESTER, ENGLAND.

製品名 "V.S.R"

等の報告記載によれば焼鈍処理に比較して50%程度の残留応力除去結果が報告されている。

これは単に被処理物に振動子と加速度計の取り付けを行い、その共振点、複合共振点を検出して残留応力除去、経時変化或いは経年変化の防止を行うものである。

〔発明が解決しようとする課題〕

ところで、振動による残留応力除去、再分布は、被処理物の金属残留応力レベル ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) と加振による繰り返し応力 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) の和によって

大きく影響する興味ある作用が存在する事実を発見した。このため、同品質、同重量、同形状の被処理物においては、予め設定された振動加速度レベルに基づき、振動周波数を上昇させるとよい。

上記回転振動は、方向転換、及び被処理物の共振点で行うことが好ましく、さらに、被処理物の任意複数点における共振点に基づくと、より効果的である。

上記加速度レベルは、共振点変位に追従させることができる。

被処理物の共振点検出に至る加速度レベル巾、共振点検出の取り付け位置は、残留応力分布及びレベルに基づき適宜に選択する。

本発明を以下に詳細に説明する。

本発明は回転振動による繰り返し振動が円運動から共振域でのX軸、Y軸に対して曲げ、引張り、圧縮の力が単純振動と異なり複雑でより有効な振動力であることは試験、実例で確認している。

しかし、金属材料に対して、溶接や機械加工等を行った場合の残留応力のレベル、分布は一樣で

塑性変形を発生させ、残留応力の弛緩、消滅をはかる原理にもとづくものであり、残留応力のレベル、分布状態の異なる被処理物においては、同一振動を与えても、残留応力除去及び再分布の効果は、不均一となる。

したがって、上記従来の処理法は、残留応力のレベル、分布状態を加味していないため、その処理効果は不均一なものであった。すなわち、信頼性の低いものであった。

そこで、本発明の目的は、残留応力除去を効率よく行い得て、信頼性の高い処理効果を常に得られるようにすることにある。

〔課題を解決するための手段〕

上記課題を解決するため、本発明にあっては、まず、被処理金属の残留応力分布及びレベルを測定し、その測定値に基づき、前記被処理金属を回転振動させて残留応力を除去するようにしたのである。

また、同品質、寸法、形状ものにおいても、振動伝達は固有な特性をもち、均一化処理に極めて

はない。

更に振動子、加速度計の取り付け位置によって共振点の加振周波数、振動の伝達係数も異なった条件となる。

即ち同形状、同重量、同材質（品質）であっても振動処理結果は異なることは明白である。

被処理物に対し、非破壊試験器による残留応力レベル、分布を知り最も効果的処理の加速度レベル巾、時間を標準にした最高共振点処理を行う処理結果は著しく均一な処理結果となる。

本発明の応力除去の機構には不明な点もあるが、加振中、被処理物の最高共振点は応力再分布の結果わずかにずれる。この移動は繰り返し応力のレベル ( $g$ ) を大きく変化させ、最高振幅に至る過程の応力再分布が処理結果に影響することは明らかである。

従って、被処理物の極部応力や応力分布に係わらず、被処理物の共振点迄の加速度レベル、時間を一定巾に保つ加振力を与える。

この結果は、図1、点A、B、C域に至る振動

の伝達は全て一定となり、局部応力を伴う低いレベルの応力再分布は安定すると考えられる。

この結果、最高共振点は、同形状、同品質、同重量の場合移動せず安定した処理結果となることが証明される。

重量、形状、工程等による被処理物の残留応力レベル、振動伝達の特性に対し、被破壊試験器による応力レベル測定により、効果的振動レベルの供給と加速度計設定位置による最高共振点のずれ、加振中の共振点移動を正確に検出、追従し、知りえた最も効果的な処理パターンを基本とする振動処理によって驚くほど均一な残留応力除去と再分布が得られた。

本処理の基本的な処理方法は上述の処理を正確に行い、時計方向と反時計方向の反復回転振動処理で更に向上した結果が達成される。

これは回転力による振動は一般に複雑な振動伝達を行うが、振動子の回転方向による影響を大きく受ける。

この結果、被処理物の残留応力は一様でないの

のため、共振点の正確な追従の処理結果は上述と同様に残留応力除去効果は非常に大である。

加速度レベル信号は一ヶ所の信号より、複数加速度計によるチャンネル信号を選択して、その共振点域の周波数上でより高いレベルの加振を行う。

複数加速度計の信号レベルの選択は被処理物の加振中において自動的に最高共振点を検出しながら選択するのが好ましい。

複数加速度計とは二ヶ所以上の加速度計取り付けを言う。加速度計による最高共振レベルは被処理物の応力分布により変化する。このために加振電動機の回転サイクルを自動調整することで驚く程均一な処理結果をえることが出来る。

このような一連の処理で残留応力の除去、再分布は完了するが、品質管理上からは不均一処理とされることがある。

このような点から、共振点処理が完了後、回転振動の方向転換による再処理を行うことで、不均一処理が取り除かれる。

これは単に回転振動モーターの正逆による方向

で、振動処理結果は回転方向により処理結果も相違する。

この相違を均一化する正逆振動処理によって飛躍的向上が計れる。

従って、本発明において利用される被処理物は鉄金属、非鉄金属に限らずガラス類、硬質樹脂材料等材質を選ばず使用できるものである。

応力測定は磁力線歪みを応用した被破壊試験器を利用するのが便利で現実的である（特開昭53-83775号公報参照）。

これら被破壊試験器で被処理物の残留応力のレベル、分布を測定し、この数値処理で強制された任意のパターンによる加速度レベルと時間軸で振動処理される。

このような処理で振動伝達を一定化し、規定共振域の正確な処理は残留応力の安定化処理、寸法安定化に驚くべき効果を発揮するものである。

更に、振動処理による共振点は加振処理中の応力再分布により、わずかに変動するが、振動応力は非常に大きく変化する。

性によるものであり、回転方向を例えば時計方向で最高共振点域処理が終了した後、反時計方向の一連処理を行うものである。

このような処理は材料のもつ残留応力、加工時の応力分布や方向性が加振時の応力伝達方向に影響されと考えられ、事実回転方向の転換処理により均一化されることで証明される。

通常のバイブレーター振動ではこのような結果は得られない。

使用する振動電動機は直流、交流の種類には限定されない。即ち加振伝達能力のみで良い。

これら応力測定による被処理物の振動処理パターンと加速度レベルの制御パターンA、加速度計取り付け位置による最高共振点選択と共振点追従B、回転方向切り換え処理Cとすると、これら三者の処理は処理目的と製品の仕上がり規格により選択使用する。

処理方法は単独でもよく、A+B、A+C、B+C、のように二方法を組み合わせても良い。二方法処理よりも、A+B+Cの組み合わせ使用法

がさらに良い結果となることは明白である。

これら三者は、作業手順として予めプログラムしておき、被処理物の重量、形状パターンから処理時間設定をするのが便利である。

振動電動機の回転数が増大すると加速度( $g$ )は増加するが、或る回転周波数になると加速度は周波数に比例増加しない域があり、共振域になると周波数増加で急激に加速度低下と次いで急激な加速度増加を示すようになる。

このようなパターンは、どのような場合も同様である。構造物や機械加工物等の被処理物に重量、形状で処理時間、処理パターンが設定できる。重量が増大すれば共振による繰り返し応力は増大するので10ton域、20ton域、20ton以上域と処理時間は短縮される。

更に、このような繰り返し応力の異状に長い処理は金属疲労の原因となる場合が発生すると考え、タイムスケジュール内の処理を行う様にすると安全で経済的にも有利である。

上記の処理システムのフロチャートを第4図に

示す。この図に基づいて、説明すれば、被処理物に、ピックアップセンサー等の応力検査器を取りつけて振動機に電力を供給する。被処理物の最高共振点を自動的にサーチしながら電力周波数を決定し、時間、回数等のプログラムにしたがい処理される。処理後、残留応力の測定確認を行ない振動処理を終了する。

第1図に材料の共振点に至る標準パターンを示す。

折れ点としては例えばA点、B点は被処理物に対して、極端な曲げ応力を与えるので振動処理時悪影響をきたす。

この間の周波数は25Hz(ヘルツ)迄にあるので0Hzより25Hzまでの周波数立ち上がりを15秒以内に指定する。

加振される被処理物のエネルギー伝達は様々である。更に受け台の材質、形式により変化するのので加振中の残留応力除去が一定しない原因となる。

このような伝達特性を補償するために被処理物に対する加振周波数と加速度レベルを一定の効果

的範囲を保ちながら最高共振点まで加振力の安定化出力を供給することで驚くほど均一な処理が出来る。

このために加速度レベルに対し加振周波数と時間軸の補償パターンが必要であり、強制的に共振点までの加速度レベルと時間を規定し振動力を被処理物に加える。

30Hz以上最高共振域に到達する迄の間、複合共振点(Sub Resonance)が、少なくとも2点の発生を見る。この複合共振点は無視するジャンプ機能を持たせる。

最高共振点の発生直前の周波数域で加速度レベルが急激に低下する域C点がある。このC点から共振振動数を追いながら絶えず最高共振点の加振を行う。

このような一連のパターンを、品質、重量、形状による時間処理を種々に規定する。

0Hzより25Hz迄を15秒以内に加振周波数の増加を計る。

25Hz以上最高共振点迄の加振周波数の増加時間

を重量比で規定する。

例えば、

100kg / 1 処理物	30秒以上	70秒以内
500kg / 1 処理物	35秒以上	80秒以内
1000kg / 1 処理物	40秒以上	80秒以内
17000kg / 1 処理物	55秒以上	20秒以内
55000kg / 1 処理物	70秒以上	20秒以内
100000kg / 1 処理物	90秒以上	20秒以内

最高共振点域の加振時間

100kg / 1 処理物	30秒以上	240秒以内
500kg / 1 処理物	30秒以上	300秒以内
1000kg / 1 処理物	30秒以上	420秒以内
17000kg / 1 処理物	30秒以上	1020秒以内
55000kg / 1 処理物	30秒以上	1380秒以内
100000kg / 1 処理物	30秒以上	1500秒以内

最高共振点から25Hz迄の加振周波数の減衰時間を重量比で規定する。

1000kg / 1 処理物	120秒以内
17000kg / 1 処理物	180秒以内
55000kg / 1 処理物	300秒以内

100000 kg / 1 処理物

480秒以内

このように指定された強制的な共振点域までの  
処理は驚くべき効果を発揮する。

(実施例1)

表1に溶接構造の試験体による試験結果を示す。

表1 母材と溶接金属の組成と機械的性質

母材	C	Si	Mn	P	S	Cu	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び %	衝撃値 (kg-m/0℃)
SS 41P	0.20	0.06	0.75	.020	.021	—	23.0	43.0	36.0	5.5
溶接金属 低合金系	0.07	0.11	0.45	0.45	.012	.012	32.4	45.7	28.0	10.0

表2 試験体の寸法変化の絶対値比較

	2ヶ月後1回 目開放平均値	22ヶ月後2回 目開放平均値	1、2回目開放 合計の平均値
無処理	0.311	4.928	2.619
熱処理	1.623	1.190	1.407
振動処理	0.639	1.912	1.276
振動パター ン処理	0.605	1.330	0.968

熱処理条件は  
625℃/1時間の  
処理を行う。

1700×1950の横ケタをX軸、Y軸として長手方  
向に5ヶ所を標点間距離を測定した。

各々左、中間、右の寸法変化を絶対値で示した。

加振前後、機械加工前後の変化を記録確認した  
ものである。

表4 横ケタ(左)

		加振前後の寸法変化量	機械加工前後の寸法変化量
X 方 向	1	0.035	0.065
	2	0.035	0.325
	3	-0.100	0.270
	4	-0.085	0.055
		平均	平均
		-0.092	0.179
X 方 向	1	-0.005	-0.100
	2	0.355	-0.435
	3	-0.180	-0.265
	4	-0.115	-0.200
		平均	平均
		0.014	-0.250

表3 1回目開放後より2回目の放置開放後  
に変化した寸法の絶対値

課 目	全寸法変化量の平均値	単位 mm
無処理	2.098	
熱処理	1.285	
振動処理	1.134	
振動パター ン処理	1.026	

回転振動処理においても熱処理と寸法変化量の  
差が無いが、回転方向転換処理のみにも拘らず本  
発明によるパターン処理によって大幅な寸法変化  
量改善の事実が得られた。

(実施例2)

SS41材とSCM3の鋼質材を使用し、溶接によって  
組立てたコラムに適用した。

外形寸法 1700巾

質量46ton

1950高さ

8500長さ 単位 mm

標点間距離は横ケタ内面に設けインサイドマイ  
クロにて測定した。

表5 横ケタ(右)

		加振前後の寸法変化量	機械加工前後の寸法変化量
X 方 向	1	-0.060	-0.005
	2	-0.045	-0.075
	3	-0.075	0.110
	4	-0.085	0.110
		平均	平均
		-0.029	0.035
Y 方 向	1	0.030	-0.225
	2	0.050	-0.075
	3	0.080	-0.120
	4	0.040	-1.775
		平均	平均
		0.050	-0.549

表6 横ケタ(中間)

		加振前後の寸法変化量	機械加工前後の寸法変化量
X 方 向	1	0.060	-0.070
	2	0.025	0.030
	3	0.045	-0.005
	4	0.020	-0.020
		平均	平均
		0.039	-0.010
Y 方 向	1	-0.050	-0.180
	2	-0.070	-0.050
	3	-0.055	0.045
	4	-0.060	0.015
		平均	平均
		-0.055	-0.024

従来のデーターより機械加工、組立時においても、焼き鈍しされたものと比較して何ら変化なく、機械機能の傷害となる因子も確認されなかった。

(実施例3) (O社)

機械加工によるメタルケースの振動処理

材質 S35C

機械加工後、各処理品の寸法変化量を、焼き入れ前、焼き入れ後に測定し、それを表に記載した。

表 7

課目	無処理変化量	焼鈍処理変化量	振動処理変化量
各部寸法の位置測定番号	1 0.057 0.030	0.055 0.041	0.052 0.042
	2 0.045 0.047	0.048 0.035	0.045 0.035
	3 0.082 0.075	0.085 0.073	0.080 0.072
	4 0.092 0.084	0.091 0.085	0.090 0.086
	5 0.035 0.025	0.042 0.025	0.030 0.018
	6 0.030 0.020	0.031 0.018	0.020 0.013
	7 0.040 0.005	0.020 0.007	0.015 0.007
	8 0.065 0.056	0.065 0.060	0.061 0.056

このように比較すると本発明による処理の優れていることが明らかである。

(実施例4)

ストレインゲージの歪み量による測定比較

材質 SS41

表 8 (M社との比較)

L=200の場合	$\epsilon$ ( $\times 10^{-4}$ )	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	除去部応力 kg/mm <sup>2</sup>	除去率 %	焼鈍と比較 %
無処理品	415.	32.	---	---	
振動処理	302.5	23.3	8.73	37.5	27
振動パターン処理	290	22.3	9.7	43.5	

L=300の場合	$\epsilon$ ( $\times 10^{-4}$ )	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	除去部応力 kg/mm <sup>2</sup>	除去率 %	焼鈍と比較 %
無処理品	363	28	---	---	
振動処理	245	18.9	9.15	32.9	
振動パターン処理	230	17.7	10.3	37.8	

算出  $\sigma = E \cdot \epsilon \cdot t / hw$

$\sigma$  : 溶接部応力  
 $\epsilon$  : ストレインゲージによる歪量  
 $hw$  : 溶接金属のノド厚  
 $E$  : ヤング率  
 $t$  : 板厚

(実施例5) M社との比較

材質 SS41

測定 X線測定法による

焼鈍は 625℃、1時間処理

振動処理は通常方法、振動パターン処理はX線応力測定器による。各試験体は処理方法毎に4検体の平均値とした。

表 9

	処理前 (kg/mm <sup>2</sup> )	処理後 (kg/mm <sup>2</sup> )	除去率 %(平均)
焼鈍処理	20.4	5.45	73.1
振動処理	19.3	8.23	57.4
振動パターン処理	20.1	7.15	64.5

4. 図面の簡単な説明

第1図は、加速度レベルと振動周波数の関係図、第2図は加速度レベルと振動周波数のスペクトラム図、第3図は最高共振点の移動説明図、第4図は本発明に係る一実施例の概略図である。

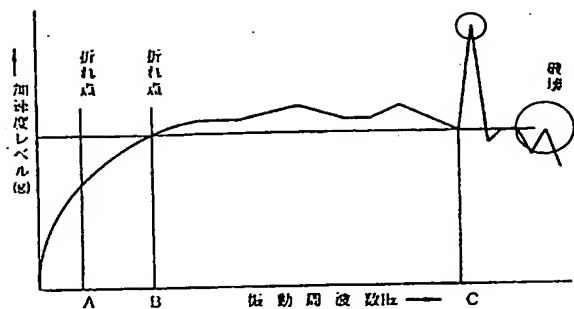
特許出願人 株式会社メタレックス研究所

同 代理人 鎌 田 文 二

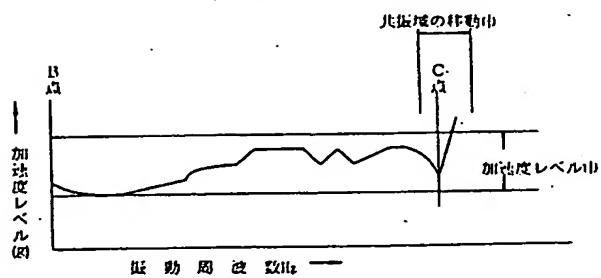
(発明の効果)

以上の説明から理解できるように、本発明によれば、被処理金属の残留応力を、効率よく除去できるとともに、十分に許容できる寸法変化量とすることができる。

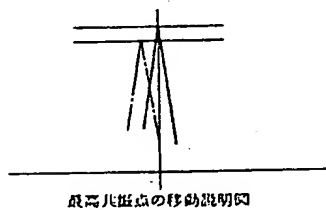
第1図



第2図



第3図



第4図

